دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی قدرت

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق قدرت

عنوان

مدلسازی و شبیه سازی رگولاتورهای ولتاژ نوین

اساتید راهنما

دکتر مهرداد طرفدار حق

مهندس قاسم اهرابیان

پژوهشگر

یوسف کرم زاده

بهمن ۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

نام: یوسف	نام خانوادگی: کرم زاده	
عنوان پایان نامه: مدلسازی و شبیه سازی رگولاتورهای ولتاژ نوین		
اساتید راهنما: دکتر مهرداد طرفدار حق و مهندس قاسم اهرابیان		
نام دانشگاه: تبریز	رشته تحصیلی: مهندسی برق	درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد
تعداد صفحات:۱۰۸	گرایش: الکترونیک قدرت	دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر
تاریخ فراغت از تحصیل:۱۳۸۹/۱۱/۲۰		
کلید واژه ها: کمبود ولتاژ ، جبران کننده ولتاژ، مبدل ac-ac، محتوای هارمونیکی، کنترل PWM، مبدل تغذیه امپدانسی، کلید دو جهته		

چکیده

کمبود ولتاژ همواره یکی از مهمترین و اصلی ترین مشخصه ها در بررسی کیفیت توان سیستم های قدرت می باشد. کمبود ولتاژ عبارت است از کاهش در ولتاژ مؤثر به اندازهٔ ۰/۱ الی ۰/۹ پریونیت در فرکانس نامی که برای مدت زمانی از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه ادامه یابد. اتصال کوتاه در سیستم قدرت، ورود و خروج بارهای بزرگ و استارت موتور های القایی بزرگ در شبکه از مهمترین عوامل ایجاد کمبود ولتاژ می باشد. روش های مختلفی جهت جبران سازی کمبود ولتاژ در سیستم قدرت وجود دارد. یکی از این روش ها جبران کننده های بر پایه مبدل های AC می باشد. در سالهای اخیر ساختارهای متنوعی از این نوع جبران کننده ها ارائه شده است. در این پایان نامه نیز پنج ساختار دیگر از این جبران کننده ها بررسی و نتایج شبیه سازی آن ارائه گردیده است. جبران سازی کمبود ولتاژ توسط ترانسفورمر سه سیم پیچه بر پایه مبدل AC، جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از اتوترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC، جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC، جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از اتوترانسفورماتور کلید شده با PWM و جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از مبدل تغذیه امپدانسی، ساختارهای ارائه شده می باشند. همچنین استفاده از کلید دو جهته به جای کلید معمولی

از مزیت های ساختارهای پیشنهادی می باشد. در کلیه ساختارهای ارائه شده از سیستم کنترل PWM استفاده شده است. در پایان شبیه سازی برای ساختارهای ارائه شده در حالت های تکفاز و سه فاز (در سیستم قدرت نمونه) با استفاده از نرم افزار Matlab/Simulink انجام و نتایج آنها بررسی و نشان داده شده است.

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش		۹
۱-۱	مقدمه	۱۰
۱-۲	معرفی انواع اغتشاشات ولتاژ در سیستم های قدرت	۱۱
۱-۲-۱	کمبود ولتاژ (voltage sag)	۱۱
۱-۲-۲	بیشبود ولتاژ	۱۳
۱-۲-۳	قطعی ولتاژ	۱۴
۱-۲-۴	هارمونیک ولتاژ	۱۴
۱-۲-۵	گذرای نوسانی	۱۵
۱-۲-۶	فیلکر ولتاژ	۱۶
۱-۲-۷	مولفه DC	۱۶
۱-۳	تعریف کمبود ولتاژ	۱۶
۱-۴	بررسی نموداری ولتاژ در شبکه	۱۷
۱-۴-۱	منحنی CBEMA	۱۷
۱-۴-۲	منحنی ITIC	۱۸
۱-۵	تجهیزات حساس به ولتاژ	۲۰
۱-۵-۱	رله و کنتاکتورها	۲۰
۱-۵-۲	روشنایی	۲۰
۱-۵-۳	درایوهای الکترونیک قدرت	۲۱
۱-۵-۴	موتور های القایی	۲۱
۱-۵-۵	موتور های سنکرون	۲۱
۱-۵-۶	کنترل کننده های اتوماتیک	۲۲
۱-۶	پیامدهای اقتصادی ناشی از کاهش ولتاژ	۲۲
۱-۷	تأثیر کاهش ولتاژ بر صنایع مختلف	۲۲
۱-۸	انواع تجهیزات جبرانساز کمبود ولتاژ	۲۳
۱-۸-۱	تپ چنجر	۲۵
۱-۸-۲	جبران کننده های کمبود ولتاژ بر پایه مبدلهای AC	۲۶
۱-۸-۳	نمونه هایی از جبران کنندهای کمبود ولتاژ بر پایه مبدل AC	۲۹

۱-۸-۳-۱	رگولاسیون اتوماتیک ولتاز با استفاده از مبدل AC ولتاژ به ولتاژ	۲۹
۱-۸-۳-۲	جبران کننده کمبود ولتاژ بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی	۳۰
۱-۹	روش های شناسایی کمبود ولتاژ	۳۳
۱-۹-۱	روش شناسایی پیک ولتاژ	۳۴
فصل دوم: مواد و روشها		۳۶
۲-۱	مقدمه	۳۷
۲-۲	اصول جبران سازی در ساختارهای ارائه شده	۳۸
۲-۳	سیستم کنترل و روش شناسایی ولتاژ	۳۹
۲-۴	معرفی کلید دو جهته	۴۱
۲-۵	معرفی سیستم نمونه	۴۱
۲-۶	فیلتر خروجی	۴۲
۲-۷	طراحی مدار snubber	۴۴
۲-۸	خلاصه ای از ساختارهای پیشنهاد شده	۴۵
۲-۹	جبران سازی کمبود ولتاژ توسط ترانسفورمر سه سیم پیچه بر پایه مبدل AC	۴۷
۲-۹-۱	بررسی نحوه عملکرد سیستم ارائه شده	۴۷
۲-۹-۲	نتایج شبیه سازی برای حالت تکفاز	۵۰
۲-۹-۳	بررسی عملکرد جبران کننده ارائه شده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی	۵۲
۲-۱۰	جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از اتو ترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC	۵۳
۲-۱۰-۱	بررسی نحوه عملکرد سیستم ارائه شده	۵۳
۲-۱۰-۲	نتایج شبیه سازی برای حالت تکفاز	۵۷
۲-۱۰-۳	بررسی عملکرد جبران کننده ارائه شده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی	۵۸
۲-۱۱	جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC	۵۹
۲-۱۱-۱	بررسی نحوه عملکرد سیستم ارائه شده	۵۹
۲-۱۱-۲	نتایج شبیه سازی برای حالت تکفاز	۶۲
۲-۱۱-۳	بررسی عملکرد جبران کننده ارائه شده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی	۶۳
۲-۱۲	جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از اتو ترانسفورماتور سوئیچ شده با PWM	۶۵
۲-۱۲-۱	بررسی نحوه عملکرد سیستم ارائه شده	۶۵
۲-۱۲-۲	نتایج شبیه سازی برای حالت تکفاز	۶۸
۲-۱۲-۳	بررسی عملکرد جبران کننده ارائه شده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی	۷۰

۲-۱۳	کاهش اثرات کمبود ولتاژ با استفاده از مبدل های تغذیه امپدانسی	۷۱
۲-۱۳-۱	مقدمه	۷۱
۲-۱۳-۲	بررسی مدل رزونانسی	۷۱
۲-۱۳-۳	توپولوژی و نحوه کنترل مبدل های تغذیه امپدانسی	۷۴
۲-۱۳-۳-۱	مبدل تغذیه امپدانسی تک فاز	۷۴
۲-۱۳-۳-۲	مبدل تغذیه امپدانسی سه فاز	۷۸
۲-۱۳-۴	نتایج شبیه سازی مبدل تغذیه امپدانسی برای حالت های کاهندگی و افزایندگی	۸۱
۲-۱۳-۵	استفاده از مبدل تغذیه امپدانسی جهت کاهش اثرات کمبود ولتاژ	۸۲
۲-۱۳-۶	نتایج شبیه سازی سیستم تکفاز برای حالت کمبود ولتاژ	۸۳
۲-۱۳-۷	نتایج شبیه سازی جبران کننده در سیستم نمونه برای حالت کمبود ولتاژ	۸۴
۲-۱۴	مبدل تغذیه امپدانسی اصلاح شده	۸۵
۲-۱۴-۱	جبران کننده کمبود/بیشبود ولتاژ بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی اصلاح شده	۹۰
۲-۱۴-۲	نحوه محاسبه مقادیر سلف و خازن شبکه امپدانسی	۹۱
۲-۱۴-۲-۱	محاسبات مقدار سلف	۹۱
۲-۱۴-۲-۲	محاسبات مقدار خازن	۹۳
۲-۱۴-۳	نتایج شبیه سازی جبران کننده ولتاژ بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی اصلاح شده تکفاز برای حالت کمبود ولتاژ	۹۵
۲-۱۴-۴	بررسی عملکرد جبران کننده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی برای حالت کمبود ولتاژ	۹۷
۲-۱۴-۵	نتایج شبیه سازی جبران کننده ولتاژ بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی اصلاح شده تکفاز برای حالت بیشبود ولتاژ	۹۸
۲-۱۴-۶	بررسی عملکرد جبران کننده در سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی آن برای حالت بیشبود ولتاژ	۹۹
فصل سوم:نتیجه گیری و پیشنهادات		۱۰۱
۳-۱	نتیجه گیری	۱۰۲
۳-۲	پیشنهادات	۱۰۳
مراجع		۱۰۵

فهرست اشکال

عنوان		صفحه
شکل(۱-۱)	کمبود ولتاژ (sag)	۱۲
شکل(۱-۲)	بیشبود ولتاژ	۱۳
شکل(۱-۳)	قطعی ولتاژ	۱۴
شکل(۱-۴)	منحنی CBEMA	۱۸
شکل(۱-۵)	منحنیITIC	۱۸
شکل(۱-۶)	شمای DVR	۲۴
شکل(۱-۷)	شمای کلی D-STADCOM	۲۴
شکل(۱-۸)	تپ چنجر الکترونیکی	۲۵
شکل(۱-۹)	توپولوژی باک و بوست برای حالت تکفاز	۲۶
شکل(۱-۱۰)	مبدل AC برای جبران سازی کمبود ولتاژ	۲۸
شکل(۱-۱۱)	رگولاسیون اتوماتیک ولتاز با استفاده از مبدل AC ولتاژ به ولتاژ	۲۹
شکل(۱-۱۲)	جبران کننده ولتاژ بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی	۳۰
شکل(۱-۱۳)	نحوه تولید سیگنال کنترل	۳۱
شکل(۱-۱۴)	مدار معادل جبران کننده در مد PWM	۳۱
شکل(۱-۱۵)	نتایج شبیه سازی برای ۶۰٪ کمبود ولتاژ	۳۳
شکل(۱-۱۶)	دیاگرام روش شناسایی پیک	۳۴
شکل(۱-۱۷)	روش شناسایی پیک: ولتاژ ورودی و شیفت ۹۰ درجه آن ،ولتاژ خروجی	۳۵
شکل(۲-۱)	مبدل ac-ac	۳۸
شکل(۲-۲)	دیاگرام سیستم کنترل	۴۰
شکل(۲-۳)	سیگنال حامل	۴۰
شکل(۲-۴)	کلید دوجهته	۴۱
شکل(۲-۵)	دیاگرام تک خطی سیستم نمونه	۴۲
شکل(۲-۶)	دیاگرام بودی فیلتر پایین گذر	۴۳
شکل (۲-۷)	دیاگرام بودی فیلتر شکافی	۴۳
شکل(۲-۸)	فیلتر پایین گذر	۴۴
شکل(۲-۹)	جبران کننده کمبود ولتاژ توسط ترانسفورمر سه سیم پیچه بر پایه مبدل ac	۴۷
شکل(۲-۱۰)	مدار معادل جبران کننده در حالت عادی سیستم	۴۸

شکل(۲-۱۱) مدار معادل در حالت کمبود ولتاژ (وضعیت الف) ۴۹
شکل(۲-۱۲) مدار معادل در حالت کمبود ولتاژ (وضعیت ب) ۴۹
شکل(۲-۱۳) شکل موج ولتاژ ورودی سیستم ۵۱
شکل(۲-۱۴) شکل موج ولتاژ در دوسر بار و ولتاژ تزریقی توسط مبدل ۵۱
شکل(۲-۱۵) شکل موج ولتاژ ورودی ساختار ارائه شده در سیستم نمونه ۵۳
شکل(۲-۱۶) شکل موج ولتاژ اصلاح شده در دو سر بار در سیستم ارائه شده ۵۳
شکل(۲-۱۷) ساختار جبران کننده ولتاژ با استفاده از اتوترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC ۵۴
شکل(۲-۱۸) مدار معادل جبران کننده در حالت عادی سیستم ۵۵
شکل(۲-۱۹) مدار معادل سیستم در حالت کمبود ولتاژ ۵۶
شکل(۲-۲۰) شکل موج ولتاژ ورودی ۵۷
شکل(۲-۲۱) شکل موج ولتاژ خروجی ۵۷
شکل(۲-۲۲) شکل موج ولتاژ ورودی در سیستم نمونه ۵۸
شکل(۲-۲۳) شکل موج ولتاژ اصلاح شده در سیستم نمونه ۵۹
شکل(۲-۲۴) ساختار جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور کنترل شده با مبدل AC ۶۰
شکل(۲-۲۵) مدار معادل جبران کننده در حالت عادی سیستم ۶۰
شکل(۲-۲۶) مدار معادل جبران کننده در حالت کمبود ولتاژ سیستم ۶۱
شکل(۲-۲۷) شکل موج ولتاژ ورودی ۶۳
شکل(۲-۲۸) شکل موج ولتاژ بار ۶۳
شکل(۲-۲۹) ولتاژ تزریقی مبدل ، ولتاژ در دو سر خازن C_o ۶۳
شکل(۲-۳۰) شکل موج ولتاژ ورودی در شین B400 ۶۴
شکل(۲-۳۱) شکل موج ولتاژ در دو سر بار ۶۴
شکل(۲-۳۲) ساختار جبران کننده کمبود ولتاژ با استفاده از اتو ترانسفورماتور کلید شده با PWM ۶۵
شکل (۲-۳۳) مدار معادل جبران کننده در حالت عادی سیستم ۶۶
شکل(۲-۳۴) مدار معادل جبران کننده در حالت PWM و خاموش بودن IGBT ۶۷
شکل(۲-۳۵) مدار معادل جبران کننده در حالت PWM و روشن بودن IGBT ۶۸
شکل(۲-۳۶) شکل موج ولتاژ ورودی ۶۹

شکل (۲-۳۷) شکل موج ولتاژ در دو سر بار ۶۹

شکل(۲-۳۸) شکل موج ولتاژ ورودی در سیستم نمونه ۷۰

شکل (۲-۳۹) شکل موج ولتاژ در دو سر بار در سیستم نمونه ۷۰

شکل(۲-۴۰) مدارپایه z-source ۷۱

شکل(۲-۴۱) ولتاژ ورودی به مبدل پایه Z-Source در حالت ۱ ۷۲

شکل (۲-۴۲) ولتاژخروجی مبدل پایه Z-Source در حالت ۱ ۷۲

شکل (۲-۴۳) ولتاژ ورودی آلوده به هارمونیک سوم در حالت ۲ ۷۳

شکل (۲-۴۴) ولتاژخروجی مبدل به ورودی آلوده به هارمونیک سوم در حالت ۲ ۷۳

شکل (۲-۴۵) ورودی آلوده به هارمونیک سوم و پنجم و هفتم به مبدل در حالت ۳ ۷۳

شکل (۲-۴۶) ولتاژخروجی مبدل به ورودی آلوده به هارمونیک سوم و پنجم و هفتم ۷۳

شکل (۲-۴۷) مبدل تغذیه امپدانسی تک فاز ولتاژتغذیه ۷۴

شکل(۲-۴۸) مبدل **تغذیه امپدانسی** تک فاز جریان تغذیه ۷۴

شکل (۲-۴۹) کنترل Duty Ratio ۷۵

شکل (۲-۵۰) مد اول مبدل ۷۶

شکل(۲-۵۱) مد دوم مبدل ۷۶

شکل (۲-۵۲) ارتباط بین D و $\frac{v_o}{v_i}$ ۷۷

شکل (۲-۵۳) مبدل تغذیه امپدانسی سه فاز ۷۸

شکل (۲-۵۴) مد اول مبدل ۷۸

شکل(۲-۵۵) مد دوم مبدل ۷۹

شکل(۲-۵۶) ارتباط بین D و $\frac{V_C}{\sqrt{3}V_i}$ ۸۰

شکل(۲-۵۷) ولتاژ ورودی به مبدل باپیک ۴۰۰ولت ۸۱

شکل(۲-۵۸) ولتاژخروجی درحالت تقویت کنندگی با D=40% ۸۱

شکل (۲-۵۹) ولتاژخروجی درحالت تضعیف کنندگی با D=70% ۸۲

شکل (۲-۶۰) ولتاژ ورودی جبران کننده ۸۴

شکل (۲-۶۱) ولتاژ خروجی در دوسر بار ۸۴

شکل (۲-۶۲) ولتاژ بار بدون وجود جبران کننده بر پایه مبدل تغذیه امپدانسی ۸۵

شکل (۲-۶۳) ولتاژ بار با بکارگیری مبدل تغذیه امپدانسی به عنوان جبران کننده ۸۵

شکل(۲-۶۴) ساختار مبدل منبع امپدانسی اصلاح شده ۸۶

شکل(۲-۶۵) مدار معادل مبدل منبع امپدانسی اصلاح شده در حالت اول ۸۶

شکل(۲-۶۶) مدار معادل مبدل امپدانسی اصلاح شده در حالت دوم ۸۷
شکل(۲-۶۷) شکل موج ولتاژ ورودی مبدل ۸۸
شکل(۲-۶۸) شکل موج ولتاژ خروجی برای D=25% ۸۸
شکل(۲-۶۹) شکل موج ولتاژ خروجی برای D=70% ۸۹
شکل(۲-۷۰) جریان طرف منبع در کانورنر منبع امپدانسی معمولی ۹۰
شکل(۲-۷۱) جریان طرف منبع در حالت مبدل منبع امپدانسی اصلاح شده ۹۰
شکل(۲-۷۲) شکل موج ولتاژ ورودی جبران کننده ۹۶
شکل(۲-۷۳) شکل موج ولتاژ در دو سر بار پس از جبران سازی ولتاژ ۹۶
شکل(۲-۷۴) ولتاژ شین B400 ۹۷
شکل(۲-۷۵) ولتاژ در دو سر بار ۹۸
شکل(۲-۷۶) سیستم کنترل جهت اصلاح بیشبود ولتاژ ۹۸
شکل(۲-۷۷) ولتاژ ورودی دارای بیشبود ولتاژ ۹۹
شکل(۲-۷۸) ولتاژ دو سر بار پس از اصلاح ۹۹
(شکل۲-۷۹) ولتاژ بار بدون وجود جبران کننده ۱۰۰
شکل(۲-۸۰) ولتاژ بار پس از بکار بردن جبران کننده ۱۰۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ میزان مجاز یا قابل تحمل تداوم کمبود ولتاژ نسبت به میزان کمبود ولتاژ ۳۷
جدول۲-۲ نحوه کلید زنی مبدل ac-ac ۳۹
جدول ۲-۳ روش های پیشنهادی در یک نگاه ۴۶
جدول۲-۴ نحوه کلید زنی جبران سازی ولتاژ توسط ترانسفورمر سه سیم پیچه بـر پایـه مبدل AC ۵۰
جدول۲-۵ نحوه کلید زنی جبران کننده ولتاژ با استفاده از اتوترانسفورماتورکنترل شده با مبدلAC ۵۶
جدول ۲-۶ نحوه کلید زنی جبران کننده ولتاژ با استفاده از اتوترانسفورماتور سوئیچ شـده با PWM ۶۸

فصل اول:

بررسی منابع و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه

کیفیت توان در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده و در این راستا تحقیقات و پژوهشهای زیادی انجام گرفته است .دلیل اهمیت این موضوع به خاطر تجهیزات حساسی است که با گذشت زمان روز به روز به تعداد آنها افزوده می گردد و از طرفی این موضوع باعث شده است که شبکه هایی که تامین کننده توان در آنها شرکتهای خصوصی می باشند به رقابت با یکدیگر بپردازند تا توان تحویلی آنها از سطح کیفی بالایی برخوردار باشد.[۱]

کیفیت توان بحث وسیعی است که موضوعات مختلفی را در بر می گیرد و هر یک از اهمیت خاص خود برخوردار می باشند.[۳] در این پایان نامه به علل کمبود ولتاژ و نحوه جبران آن در یک سیستم قدرت می پردازیم.کمبود ولتاژ با وقفه ای که بوجود می آید اثرات زیانباری می تواند بوجود آورد و این مطلب شدیداً مورد اعتراض مصرف کنندگانی است که متحمل چنین خساراتی می شوند.به عنوان مثال فرض کنید که در یک اتاق عمل تجهیزات پزشکی حساس به دامنه ولتاژ هستند،بی شک واضح است که در اثر کاهش دامنه ولتاژ اثراث جبران ناپذیری به وجود می آید. بنابراین با توجه به مسائل ذکر شده بایستی سعی کنیم دامنه ولتاژ را در شبکه ها ثابت نگه داریم و از بوجود آمدن خسارات اقتصادی ، جانی و... جلوگیری بعمل آوریم.[۱]،[۲]

در این راستا دو روش کلی جهت ممانعت از اثرات فوق الذکر وجود دارد. اول اینکه سعی کنیم از حساست نسبت به عیوب بوجود آمده در شبکه بکاهیم و دیگر اینکه با نصب تجهیزات کمکی مانع از انتقال اغتشاش به تجهیزات حساس شویم .بسیاری از این تجهیزات که در اغلب موارد نیز از توجیح اقتصادی برخوردار می باشند عبارتنداز فیلتر اکتیو (APF)[۱] ، سیستمهای ذخیره انرژی

۱: Active Power Filter

توسط باطریها [۲](BES) ، جبران سازهای سنکرون استاتیکی [۳](D-StatCom)، خازنهای سری)، بازیکمبود دینامیکی ولتاژ [۴](DVR) ذخیره سازه های انرژی توسط ابر هادیها ، منابع تغذیه که بدون وقفه درمدار وجود دارند [۵](UPS)و... .[۱]،[۲]

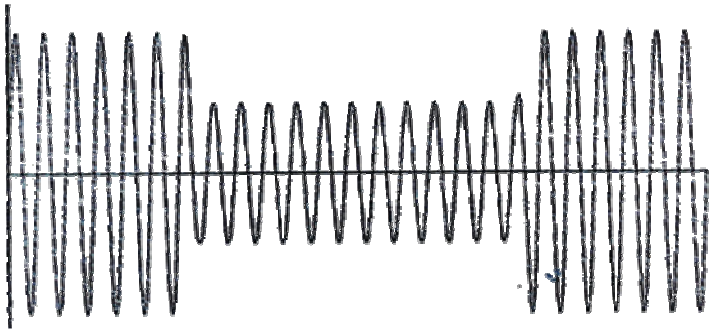
از موارد یاد شده فوق (Dynamic Voltage Restorer) DVR یکی از بهترین تجهیزات جهت جبران سازی کمبود ولتاژ بصورت سری در مدار می باشد. [۲۴]،[۲۱]

۱-۱معرفی انواع اغتشاشات ولتاژ در سیستم های قدرت

۱-۲-۱ کمبود ولتاژ (voltage sag)

کمبود ولتاژ عبارت است از کاهش در ولتاژ مؤثر به اندازهٔ ۰/۱ الی ۰/۹ پریونیت در فرکانس نامی که برای مدت زمانی از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه ادامه یابد. عبارت کمبود ولتاژ(sag) در جمع متخصصین کیفیت توان سالهاست که مورد استفاده قرار گرفته است تا نوع خاصی از اغتشاش کیفیت توان را توصیف کند. این توصیف مستقیماً از معنی کلمه sag اقتباس شده است . تعریف IEC[۶] برای توصیف این پدیده کلمه dip است . این دو عبارت هم معنی هستند و می توانند بجای هم استفاده شوند ولی در جامعه کیفیت توان آمریکا استفاده از کلمه sag ترجیح داده می شود.یک کمبود ۲۰ درصد به ولتاژی گفته می شود که دارای دامنه ای برابر ۰/۸ پریونیت باشد.نمونه ای از کمبود ولتاژ در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.[۱]،[۳]،[۱۶]

۱: Battery Energy Storage
۲: Distortion Static Compensator
۳: Dynamic Voltage Restorer
۴: Uninertruptible Power Supply
۱: International Electrotenchnical Commission



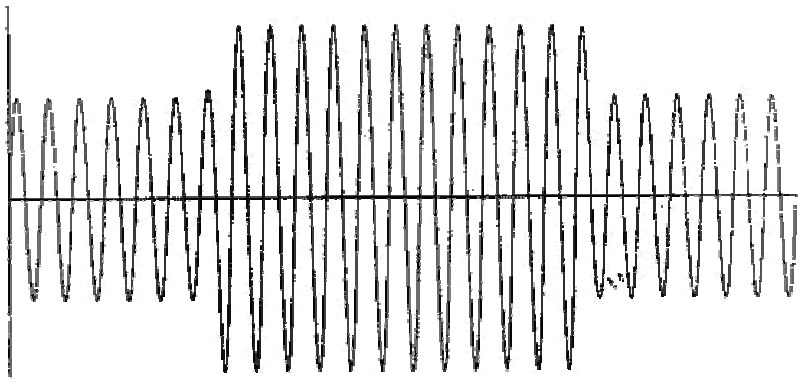
شکل(۱-۱) کمبود ولتاژ (sag)

کمبود ولتاژ معمولاً با خطاهای اتصال کوتاه همراه است. البته کلیدزنی بارهای سنگین یا راه اندازی موتورهای پرقدرت هم می تواند از دیگر عوامل ایجاد کمبود ولتاژ باشد. معمولاً زمان رفع خطای اتصال کوتاه از ۳ تا ۳۰ سیکل است که بستگی به دامنه جریان اتصال کوتاه و نوع تشخیص دهنده اضافه جریان و کلید قطع دارد.کمبود ولتاژ ممکن است ناشی از تغییرات بار یا راه اندازی موتور باشد. یک موتور القائی هنگام راه اندازی به مقدار ۶ تا ۱۰ برابر جریان نامی از شبکه جریان می کشد. این جریان پس فاز موجب کمبود ولتاژ در دو سر امپدانس شبکه می گردد. اگر دامنه این جریان در مقایسه با جریان اتصال کوتاه قابل ملاحظه باشد،کمبود ولتاژ بوجود آمده می تواند چشمگیر باشد.[۱]،[۳]،[۱۵]

قبلاً مدت دوام حادثه کمبود ولتاژ بوضوح تعریف نشده بود. زمان تداوم کمبود در بعضی از مقالات در محدوده ای از یک دهم سیکل (۲میلی ثانیه) تا چند دقیقه تعریف شده بود.کمبود ولتاژ هائی که عمری کمتر از نیم سیکل دارند نمی توانند مقدار مؤثر فرکانس اصلی را تحت تأثیر خود قرار دهند .لذا این حوادث در طبقه گذراها جای می گیرند. کمبود ولتاژهائی که بیشتر از ۱ دقیقه طول بکشند معمولاً توسط تجهیزات تنظیم ولتاژ کنترل شده و ممکن است که عوامل متعددی بغیر از اتصال کوتاه داشته باشند. لذا این پدیده ها تحت تغییرات بلند مدت تقسیم می شوند.[۱]،[۳]،[۱۶]

۱-۲-۲ بیشبود ولتاژ

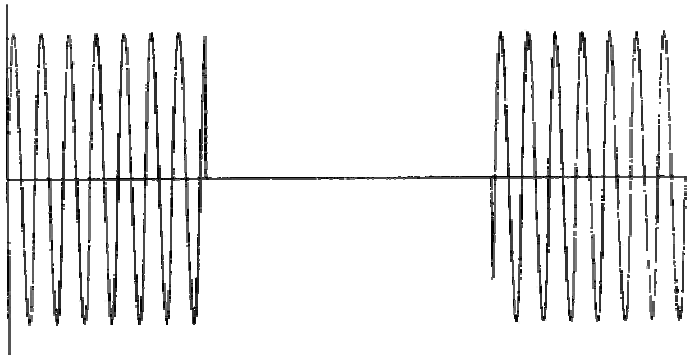
بیشبود ولتاژ بصورت یک افزایش در مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان بین ۱/۱ الی ۱/۸ پریونیت در فرکانس نامی برای مدت زمان از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه تعریف می شود. دامنه بیشبود بصورت باقیمانده ولتاژ توصیف می شود که در این حالت معمولاً بزرگتر از ۰/۱ پریونیت است. همانند کمبودها، بیشبودها هم معمولاً بر اثر شرایط خطای اتصال کوتاه سیستم بوجود می آید اما وقوع آنها بسیار کمتر از وقوع کمبودهاست. یک بیشبود می تواند بر اثر یک اتصال کوتاه تک خط به زمین اتفاق بیفتد که در اثر آن در فازهای دیگر یک اضافه ولتاژ موقتی رخ دهد. بیشبودها همچنین ممکن است بعلت از مدار خارج شدن بارهای بزرگ یا وارد مدار شدن یک بانک خازنی بزرگ رخ دهد. بیشبودها توسط دامنه (مقدار rms) و مدت زمان، شناسائی می شوند. شدت اضافه ولتاژ هنگام شرایط خطای اتصال کوتاه تابعی از محل خطا، امپدانس سیستم و نحوه زمین کردن می باشد. در یک سیستم زمین نشده، ممکن است در اثر اتصال کوتاه یک فاز به زمین، ولتاژ فازهای سالم به ۱/۷۳ پریونیت برسد. شکل ۱-۲ نمونه از بیشبود ولتاژ را در سیستم قدرت نشان می دهد. [۱]،[۳]،[۱۶]



شکل(۱-۲) بیشبود ولتاژ

۱-۲-۳ قطعی ولتاژ

یک قطعی، موقعی اتفاق می کمبودد که ولتاژ تغذیه یا جریان بار بـه مقـدار کمتـر از ۰/۱ پریونیـت برای مدت کمتر از یک دقیقه کاهش یابد.عوامل مؤثر در قطعـی مـی توانـد اتـصال کوتـاه سیـستم قدرت، خرابی دستگاه و بد کار کردن سیستم کنترل باشد. قطعی ولتاژ توسط زمان تداوم آن انـدازه گیری می شود. چون دامنه آن همواره کمتر از ۱۰ درصد مقدار نامی است، مدت زمان یـک قطعـی ناشی از خطای اتصال کوتاه در سیستم توزیع توسط زمان عملکرد سیستم حفاظتی تعیین می شـود. مدت زمان یک قطعی ناشی از خرابی دستگاه و یا قطع شدن اتصالات می تواند نـامنظم باشـد و از قاعده خاصی پیروی نکند. شکل(۱-۳) نمونه ای از قطعی ولتاژ در سیستم قدرت را نشان می دهد. بعضی از قطعی ها ممکن است بعد از یک کمبـود ولتـاژ(sag) ناشـی از خطـای اتـصال کوتـاه در سیستم رخ بدهد. مدت تداوم قطعی بستگی به قابلیت بـاز و بـستن (reclosing) سیـستم حفـاظتی دارد. باز و بست تأخیری سیستم حفاظـت، ممکـن اسـت موجـب قطعـی لحظـه ای و یـا مـوقتی گردد.[۱]،[۳]،[۱۶]



شکل(۱-۳) قطعی ولتاژ

۱-۲-۴ هارمونیک ولتاژ

هارمونیک ها، ولتاژها و جریانهای سینوسی هـستند کـه دارای فرکـانس هـایی بـا مـضرب عـددی صحیح از فرکانس اصلی شبکه می باشند. هارمونیک ها با مؤلفه اصلی ولتاژ یا جریان ترکیب شـده

و موجب اعوجاج در شکل موج می گردند. اعوجاج هارمونیکی بعلت مشخصه های غیر خطی دستگاهها و بارهای سیستم قدرت بوجود می آیند.[۳]،[۱۶]

۱-۲-۵ گذرای نوسانی

یک گذرای نوسانی تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت در حالت مانای ولتاژ، جریان و یا هر دوی آنهاست که هر دو پلاریتهٔ مثبت و منفی را دارا می باشد. گذرای نوسانی شامل شکل موجهای ولتاژ یا جریان است که مقدار لحظه ای آن سریعاً تغییر پلاریته می دهد.

مشخصه های این پدیده توسط محتوای طیفی(فرکانس مسلط)، طول دورهٔ زمانی و دامنه تعیین می شوند. گذرای نوسانی بر حسب فرکانس به سه نوع فرکانس بالا، متوسط و کم تقسیم شده است.[۳]،[۱۶]

گذرای نوسانی بالاتر از ۵۰۰ کیلو هرتز و تداوم زمانی چند میکروثانیه، بعنوان گذرای نوسانی فرکانس بالا در نظر گرفته می شود. گذرای نوسانی فرکانس بالا اغلب ناشی از پاسخ سیستم محلی به یک گذرای ضربه ای می باشد.گذراهائی که دارای مؤلفه های فرکانسی بین ۵ و ۵۰۰ کیلوهرتز و با تداوم چندین ده میکروثانیه باشند، گذرای فرکانس متوسط نامیده می شوند.برقدار کردن خازنهای پشت به پشت (Back-to-back) موجب گذرائی در محدوده دهها کیلوهرتز خواهد شد.[۳]،[۱۵]

گذرائی که مؤلفه اصلی فرکانس آن کمتر از ۵ کیلوهرتز وتداوم از ۰/۳ تا ۵ میلی ثانیه داشته باشد بعنوان گذرای فرکانس پایین در نظر گرفته می شود.این پدیده متناوباً در سیستم های فوق توزیع و توزیع مشاهده می شود و عوامل متعددی در بوجود آمدن آن دخیل هستند.از عوامل عمده آن معمولاً انرژی دار کردن بانک خازنی می باشد که موجب گذرای نوسانی ولتاژ با مؤلفه اصلی فرکانس بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ هرتز می شود. این گذرا دارای دامنه پیک حدوداً ۱/۵-۱/۳ پریونیت است

که گاهی به ۲/۰ پریونیت هم می رسد و دارای تداوم ۰/۵ تا ۳ سیکل خواهد بود.گذراهای نوسانی با فرکانس کمتر از ۳۰۰ هرتز هم در سیستم های توزیع مشاهده می شوند. این حالتها در اثر پدیده فرورزونانس و انرژی دار کردن ترانسفورماتورها بوجود می آیند.[۳]،[۱۶]

۱-۲-۶ فیلکر ولتاژ

به نواسانات دامنه ولتاژ که با پوش منظم فرکانس پایین صورت می گیرد و با چشم به صورت سوسو زدن در لامپ های روشنایی دیده می شود، فلیکر ولتاز گفته می شود. فلیکر ولتاژ در ارتباط با حساسیت چشم انسان اندازه گیری می گردد.[۳]،[۱۶]

۱-۲-۷ مولفه DC

حضور یک ولتاژ و یا جریان مستقیم در یک سیستم قدرت، افست یا مولفه dc نامیده می شود. این پدیده می تواند در نتیجه اغتشاش مغناطیسی زمین، یا بر اثر یکسو کننده های نیم موج بوجود آید. وجود جریان مستقیم در یک شبکه متناوب می تواند موجب آسیب های جدی از قبیل افزایش اشباع هسته ترانسفورماتورها، استرس های اضافی روی عایقها و دیگر اثرات مخرب شود.[۳]،[۱۶]

۱-۳ تعریف کمبود ولتاژ

طبق استانداردهای IEEE(1995-1159) کاهش مقدار rms به اندازه ۰/۱ پریونیت تا ۰/۹ پریونیت در فرکانس قدرت به مدت نیم پریود تا یک دقیقه کمبود ولتاژ نامیده می شود.اتصال کوتاه های بوجود آمده در شبکه های انتقال یا کلیدزنی بارهای سنگین و یا استارت موتورهای بزرگ می تواند باعث بوجود آمدن چنین کمبود ولتاژهایی در شبکه های توزیع گردد. بروز اتصال در خطوط انتقال می تواند باعث ایجاد کمبود ولتاژ در شبکه های توزیع گردد. وقتی در یکی از فازهای خطوط انتقال قدرت موازی اتصال تکفاز به زمین رخ می دهد سطح ولتاژ در شینه های